

Laboratorion sisäilman radon- pitoisuuden vaihtelun vaikutus gammasepektrometrisiin mittauk- siin

Erikoistyö, 6.10.2017

Tekijä:

NIKO KIISKINEN

Ohjaajat:

JAANA KUMPULAINEN (JYVÄSKYLÄN YLIOPISTO)

ROY PÖLLÄNEN (SÄTEILYTURVAKESKUS)



JYVÄSKYLÄN YLIOPISTO
FYSIIKAN LAITOS

TIIVISTELMÄ

Kiiskinen, Niko

Laboratorion sisäilman radonpitoisuuden vaihtelun vaikutus gammaspektrometrisiin mittauksiin

Erikoistyö

Fysiikan laitos, Jyväskylän yliopisto, 2017, 19 sivua

Tässä työssä selvitettiin laboratorion sisäilman radonpitoisuuden vaihtelun vaikutusta gammaspektrometristen mittausten tuloksiin. Toinen mittaus suoritettiin laboratoriossa ja toinen kellarikerroksessa, koska kellarissa on suurempi radonpitoisuus kuin laboratoriossa. Mittauksia varten rakennettiin liikuteltava lyijysuoja, jonka sisälle aseteltiin siirreltävä gammailmaisin. Sisäilman radonpitoisuutta tarkkailtiin erillisellä monitorilla. Tuloksista käy ilmi, että radonpitoisuuden keskiarvon kasvaessa myös radonin hajoamistuotteiden synnyttämien gammapiikkien pintaalat kasvavat. Alojen suhteellinen muutos on tosin paljon pienempi kuin pitoisuuden keskiarvon suhteellinen muutos.

Avainsanat: gammaspektrometria, radon, radonpitoisuus, spektri, taustasäteily

ABSTRACT

Kiiskinen, Niko

The variation of radon concentration in the laboratory's indoor air and its effect on gamma-spectrometric measurements

Department of Physics, University of Jyväskylä, 2017, 19 pages

In this study the effect of variation of radon concentration in the laboratory's indoor air on gamma-spectrometric measurements was analysed. One measurement was conducted in the laboratory and another in the basement floor, because the radon concentration in air is higher in the basement than in the laboratory. A mobile lead shield was built for the experiment so that a movable detector could be fitted inside it. The radon concentration in indoor air was observed with a separate monitor. The results show that when the mean value of the radon concentration increases, the areas of the gamma peaks—resulted from the radon progeny—will also increase. On the other hand, the relative change in the areas is way smaller than the relative change in the mean concentration.

Keywords: background radiation, gamma spectrometry, radon, radon concentration, spectrum

1 JOHDANTO

Radioaktiivisten aineiden tuottama ionisoiva säteily on terveydelle haitallista. Siksi on tärkeää varmistua siitä, ettei väestö altistu liialliselle säteilylle. Kaikelta säteilyltä ei kuitenkaan pystytä suojautumaan: Taustasäteilyä on joka puolella, koska maaperässä, ilmassa, rakennusmateriaaleissa ja ihmisissä itsessään on luonnostaan radioaktiivisia aineita. Myös avaruudesta tuleva kosminen säteily lasketaan siihen. Ihmisten toiminnasta aiheutuviin altistuksiin on kuitenkin mahdollista puuttua.

Säteilyturvallisuuden valvonta on Säteilyturvakeskuksen päätehtävä. Se huolehtii muun muassa siitä, että suomalaisten säteilyaltistus pysyy mahdollisimman pienenä ALARA-periaatetta (as low as reasonably achievable) noudattaen. Sosiaali- ja terveysministeriön alaisuudessa toimivan STUKin toiminta pohjautuu säteily- ja ydinturvallisuuslainsäädäntöön, turvallisuusmääräyksiin ja ohjeisiin. [1]

YKsi tärkeä osa säteilyturvallisuuden valvontaa on ympäristön säteilyvalvonta. STUK valvoo ympäristön radioaktiivisuutta esimerkiksi tekemällä mittauksia ympäristössä, ottamalla näytteitä laboratoriossa analysoitaviksi sekä tekemällä ihmismittauksia. Valvonnan perusteella voidaan arvioida, kuinka suuri säteilyannos keinotekoisista radioaktiivisista aineista väestölle tai yksittäiselle henkilölle keskimäärin koituu. [2]

Olin kesällä 2017 harjoittelussa STUKissa Valvonta ja mittaus -yksikössä (VAM), joka on Ympäristön säteilyvalvonta ja valmius -osaston (VALO) alainen. Tehtäväni oli huolehtia gamma-spektrometrinen mittauksen suorittamisesta. Toisin sanoen vaihdoin näytteet ja varmistin, että mittaukset suoritetaan ajallaan, oikeanlaisilla ilmaisimilla ja että mittausajat ovat riittävän pitkät spektrien analysointia ajatellen.

Töiden ohessa pohdin gammaspektrometrisista mittauksista vastaavan ylitarkastaja Roy Pölläsen ja muutaman hänen ryhmänsä jäsenen kanssa, mikä olisi sopiva aihe erikoistyölle. Päädyimme miettimään, miten laboratorion ilman radonpitoisuuden vaihtelu vaikuttaa mittausten taustaspektreihin – vai näkyisikö se ollenkaan. Jos jostain syystä laboratorioden ilmastointiin tulisi häiriö ja radonpitoisuus sen myötä kasvaisi, pitäisikö se ottaa huomioon tuloksia analysoitaessa?

Gammaspektrometrian laboratorioissa mitataan jatkuvasti laboratorion ilman aktiivisuutta, joka on peräisin radonista ja sen hajoamistuotteista, mutta kyseisiä mittaustuloksia ei hyödynnetä tällä hetkellä riittävästi. Voisiko nämä mittaukset jättää mahdollisesti turhina kokonaan pois? Aionkin erikoistyössäni selvittää, olisiko radonin ja sen hajoamistuotteiden pitoisuuksien kasvaminen hyvä ottaa huomioon gammaspektrometrisia mittauksia ja analyysijä tehtäessä.

2 TYÖN TOTEUTUS

2.1 Ideointi

Erikoistyön aihe kehittyi vähitellen harjoittelujakson alkupuolella. Gammasppektrometrisiä mittauksia varten on kaksi laboratoriohuonetta, joille on annettu nimet $\gamma 1$ ja $\gamma 2$. Kummassakin huoneessa on gammailmaisimien lisäksi kannettava AlphaGUARD P30 -laite, joka havainnoi radonista ja sen hajoamistuotteista johtuvaa ilman aktiivisuutta. Kyseinen laite pystyy tallentamaan mittaustietoja pisimmillään noin neljän kuukauden ajalta, minkä jälkeen data on siirrettävä tietokoneelle. Muutoin uudet mittaustiedot tallentuvat vanhimpien päälle.

Pohdimme gammaryhmän kesken, milloin tiedot on luettu viimeksi ja hyödynnetäänkö mitattuja tietoja riittävästi. Luontevana jatkumona mietimme seuraavaksi, onko kyseisiä mittauksia järkevää jatkaa, jos tiedoilla ei tehdä juuri mitään. Niinpä sain erikoistyöni aiheeksi selvittää, vaikuttaako ilman radonpitoisuuden vaihtelu merkittävästi taustaspektriin. Jos muutos on selkeästi havaittavissa, AlphaGUARD-mittauksia kannattaa jatkaa. Tällöin olisi myös ensiarvoisen tärkeää kehittää menetelmä mittaustulosten hyödyntämiseen.

Aiheen muotouduttua rupesimme suunnittelemaan mittausjärjestelyjä: missä ja kuinka kauan mitataan, mitä ilmaisimia ja mittareita käytetään sekä mikä lyijysuoja valitaan. Koska erikoistyön aihe liittyy nimenomaan gammasppektrometriseen laboratorioon, toiseksi mittaustaikaksi valitsimme $\gamma 1:n$. Olisimme voineet yhtä hyvin valita $\gamma 2:n$, mutta väljyytensä vuoksi päädyimme $\gamma 1:een$. Toiseksi mittaustaikaksi valikoitui yksi kellarikerroksen varastohuoneista, sillä aiempien mittausten perusteella kellarin ilman on todettu sisältävän laboratorioihin verrattuna moninkertaisesti radonia. Koska laboratorion ilman radonpitoisuus on tehokkaan ilmastoinnin ja rakennusmateriaalien valintojen ansiosta pieni, koimme, että siellä tapahtuvan mittauksen olisi hyvä olla noin viikon pituinen. Päätimme, että myös kellarin mittaus voisi hyvin olla viikon mittainen.

Ilmaisinta valitessamme puntaroimme niin sanotun normaalin gammailmaisimen ja kannettavan ilmaisimen välillä. Normaali ilmaisin olisi kuitenkin vaatinut tavanomaisen jäähdytyksen (joko nestetypellä tai sähköjäähdyttimellä), ison ja valmiiksi muotoon tehdyn lyijysuojan, monikanava-analysoittorin ja tietokoneen, joten päädyimme näiden logististen haasteiden vuoksi kannettavaan ilmaisimeen. Toki kaikki normaalin ilmaisimen vaatimat laitteet ja suojat olisivat olleet helposti käytettävissä laboratoriossa, mutta niiden siirtäminen kellarikerrokseen olisi ollut hankalaa. Kannettavalle ilmaisimelle riitti vain virtalähde, kannettava tietokone ja lyijyharkoista rakennettu suoja. Vaikka tiesimme suojan kasaamisen ja sen kerrosten välillä siirtelyn olevan isohko prosessi, kokonaisuus oli kuitenkin helpompi toteuttaa.

2.2 Kirjallisuus ja tutkimukset

Etsin aluksi tietoa säteilyn havaitsemisesta ja radonista STUKin omasta kirjasarjasta. Ensimmäisessä osassa ([3]) kerrotaan, miten radioaktiivisia nuklideja voidaan havaita säteilyn pohjalta. Perehdyin erityisesti STUKin gammaspektrometrisissa mittauksissa käytettäviin HPGe-tyypin ilmaisimiin (high-purity germanium detector). Sen jälkeen luin radonista ja sen hajoamistuotteiden mittaamisesta sarjan toisesta osasta ([4]).

Seuraavaksi yritin etsiä tutkimuksia, jotka liittyvät radonpitoisuuden vaihteluun ja sen aiheuttamiin muutoksiin mittaustuloksissa. Löysin vain yhden esitelmän, joka liittyi suoraan aiheeseeni ([5]). Sen lisäksi löysin tutkimuksia, joissa selvitettiin, miten radonia ja sen hajoamistuotteita voidaan vähentää huoneilmasta sekä lyijysuojan ja ilmaisimen pinnoilta ([6]) sekä miten ilman radonpitoisuus vaihtelee lyhyellä ja pitkällä aikavälillä laboratorio-olosuhteissa. ([7]) Lopuksi tutustuin mittauksissa tarvitsemiäni laitteiden käyttöohjeisiin ([8], [9]).

2.3 Suojan rakentaminen

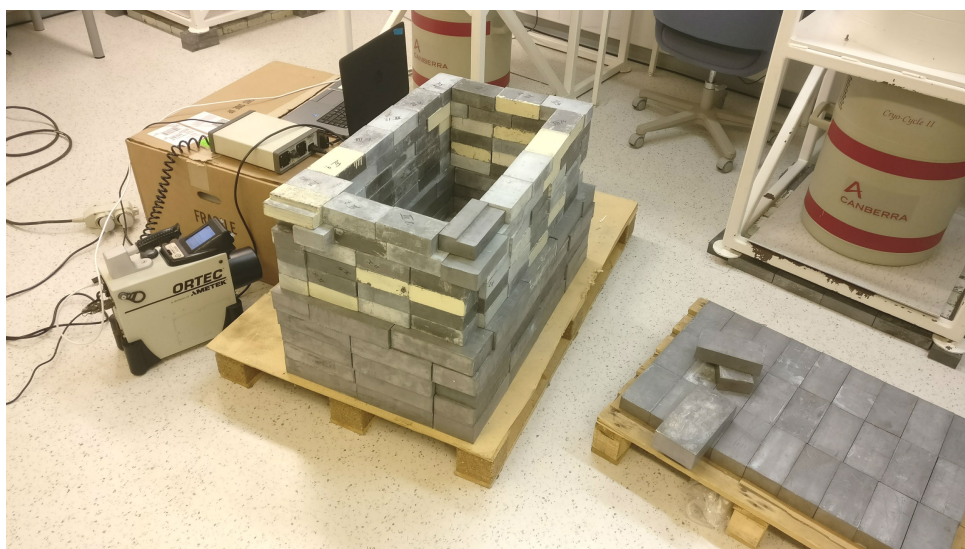
Perehdyttyäni aiheeseen aloin rakentamaan lyijysuojaa kannettavalle ilmaisimelle. Löysimme kuormalavoille ladottuja lyijyharkkoja kahdesta eri varastosta, ja niitä oli juuri sopivasti suojaa varten. Päätin käyttää vankinta lavaa alustana, sillä rakennelma painaisi paljon. Lisäksi sen päällä oli jo kaksi kerrosta lyijyharkkoja, joten pohja oli käytännössä jo valmiiksi kasattu. Harkot eivät valitettavasti olleet siten, että suojan olisi voinut rakentaa täysin keskelle lavaa, mikä vaikeutti rakennelman siirtämistä pumppukärryllä.

Ensimmäiseksi puhdistin harkot irtoliasta ja -pölystä. Pyyhin pintoja myös alkoholilla poistaakseni mahdollista pintakontaminaatiota. Sen jälkeen ryhdyin kasaamaan seiniä pala palalta. Kokonaisuudesta tuli varsin kookas, sillä tarkoitus oli jättää tilaa ilmaisimen ympärille samalla tavalla kuin on laboratorioiden suojissa.

Kun suoja oli kattoa vaille valmis, toin sen ja loput harkot $\gamma 1$:n etuhuoneeseen. Kuvassa 1 näkyvät suojarakennelma ilman kattoa sekä mittauksissa käyttämäni laitteet. Annoin niiden olla siinä viikonlopun yli, jotta radonin hajoamistuotteiden pitoisuus lyijypinnoilla vähenisi ja siten tarkentaisi mittauksia. En löytänyt tietoa siitä, kuinka kauan harkkojen olisi ollut hyvä odottaa puhtaammassa tilassa. Valinta riittävästä odotusajasta ei siis perustunut mihinkään tutkimukseen, vaan se valittiin käytännön järjestelyjen ja aikataulujen ehdoilla.

Viikonlopun jälkeen vein suojan $\gamma 1$:een ja nostin ilmaisimen sen sisälle. Asetin pohjan ja ilmaisimen väliin pahvinpalasen pienentääkseni ilmaisimen kontaminaatoriskiä. Asensin seuraavaksi tarvittavat kaapelit kannettavan tietokoneen, virtalähteen ja ilmaisimen välille. Suojasin varalta myös kaapelit kontaminaatoriskin vuoksi kierittämällä riittävästi paperia niiden ympärille.

Viimeisenä oli vuorossa katon rakentaminen. Löysin varastosta vanhan työpöydän kannen, jossa oli sopivasti lovi yhdessä kulmassa johtojen läpivientiä varten. Kuva 2 selventää kyseistä asetelmaa. Panin ensin levyn paikalleen seinien päälle ja rupesin sen jälkeen kasaamaan lyijyharkkoja levyn päälle. Asetin hieman enemmän harkkoja lähelle ilmaisinta, jotta sille päätyisi vähemmän ympäristön säteilyä. Valmis mittausasetelma on kuvassa 3.



Kuva 1: Lyijysuoja ilman kattoa sekä mittauslaitteisto. Kaikki tarvittava on tässä vaiheessa jo siirretty γ 1:een.

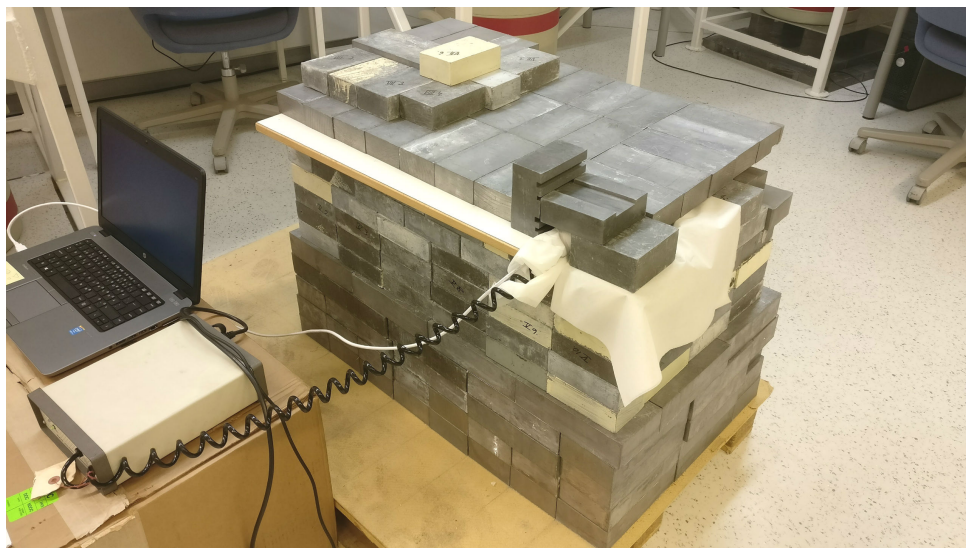
2.4 Laitteisto ja välineet

Käytin taustaspektrien mittaamiseen ORTEC Detective-DX-100T -laitetta, joka on kannettava p-tyypin HPGe-spektrometri. Toisin sanoen se pystyy tallentamaan tiedon siitä, mikä on radioaktiivisen nuklidin hajoamisen seurauksena syntyvän gammakvantin energia ja kuinka monta gammakvanttia kullakin energialla se on havainnut. Laite käyttää 8192 kanavaa, ja sen suhteellinen tehokkuus on yli 40 % muutamasta kymmenestä kiloelektronivoltista aina useaan megaelektronivolttiin asti. Ge-kiteen halkaisija on 65 mm ja syvyys 50 mm. [8] Detectiveen on rakennettu sisään sähköinen jäähdytin, sillä sen germaniumkide on pidettävä kylmänä, jotta vuotovirta pysyy aisoissa [2].

Ohjasin Detectiven toimintaa ORTEC MAESTRO -ohjelmalla kannettavalta tietokoneelta, joka oli USB-kaapelin välityksellä yhteydessä spektrometriin. Ohjelman käyttöliittymä on kuvassa 4. Detective sai virtansa erillisestä PAC-II-virtalähteestä, sillä normaalisti käytettävä jalusta



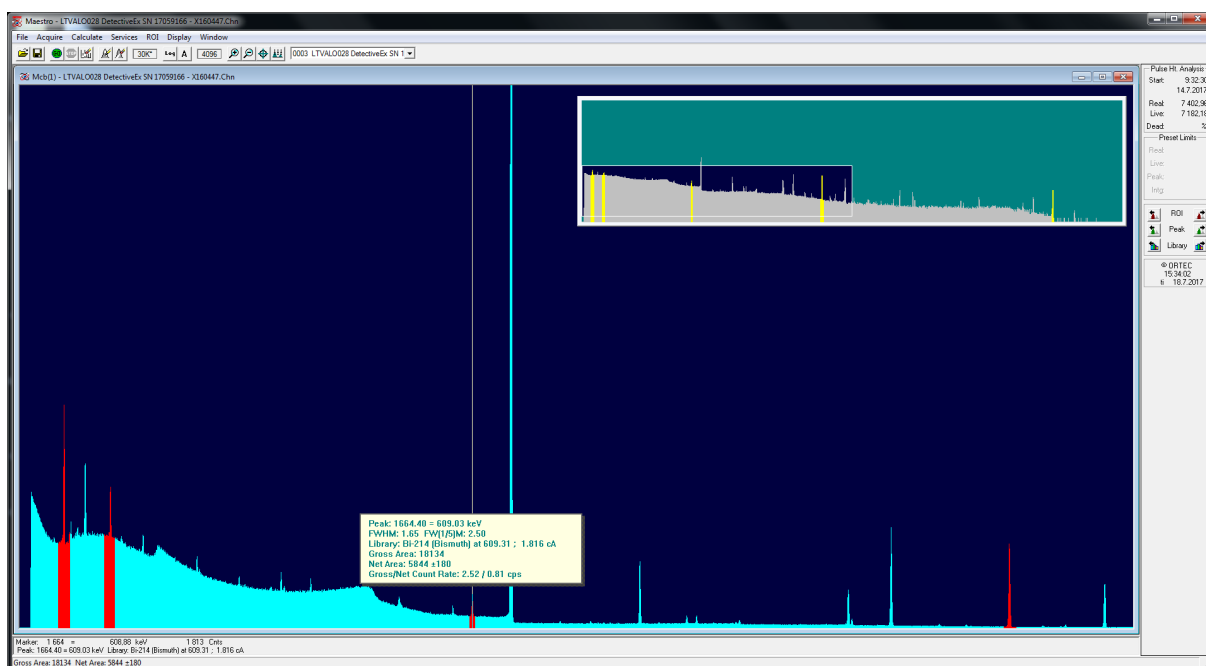
Kuva 2: Pöytälevyn lovi oli juuri sopiva johtojen läpivienniksi.



Kuva 3: Valmis mittausasetelma γ 1:ssä.

oli liian iso lyijysuojaan ja se sisältää kiinteän säteilylähteen laitteen nopeaa, kenttätyön ohessa tehtävää kalibrointia varten. Detectiveä pystyy käyttämään myös akkuvirralla, mutta tällöin käyttöaika lyhenee noin kolmeen tuntiin. Käytin myös kannettavalle tietokoneelle tämän omaa virtalähdettä. Kuvassa 5 näkyvät tietokone, Detective sekä PAC-II.

Käytin radonpitoisuuden valvomiseen Saphymo AlphaGUARD P30 -monitoreita (kuva 6). Toinen niistä mittaa koko ajan γ 1:n radonpitoisuutta, kun taas toisen kävin lainaamassa Kenttä ja tilannekuvajärjestelmät -yksiköltä (KET) kellarissa suoritettavaa mittausta varten. AlphaGUARD-sarjan laitteet kykenevät seuraamaan ilman radonin ja tämän hajoamistuotteiden pitoisuutta. P30-malli pystyy mittaamaan aktiivisuutta diffuusioon perustuvan menetelmän avulla (ylära-



Kuva 4: MAESTRO:n käyttöliittymä. Ikkunassa näkyvä mitattu spektri on standardinäytteen emittoima.



Kuva 5: Detective, PAC-II ja tietokone, jolla ohjasin Detectiven toimintaa.

ja 30 kBq m^{-3}). [9] Myös P30 tarvitsi virtalähteen, sillä laitteen akun kapasiteetti ei ole riittävä pitkäaikaiselle monitoroinnille. Luin mittaustiedot RS-232-kaapelin välityksellä tietokoneen DataExpert-ohjelmalla, josta pystyin tallentamaan tiedot tavalliseksi tekstitiedostoksi.



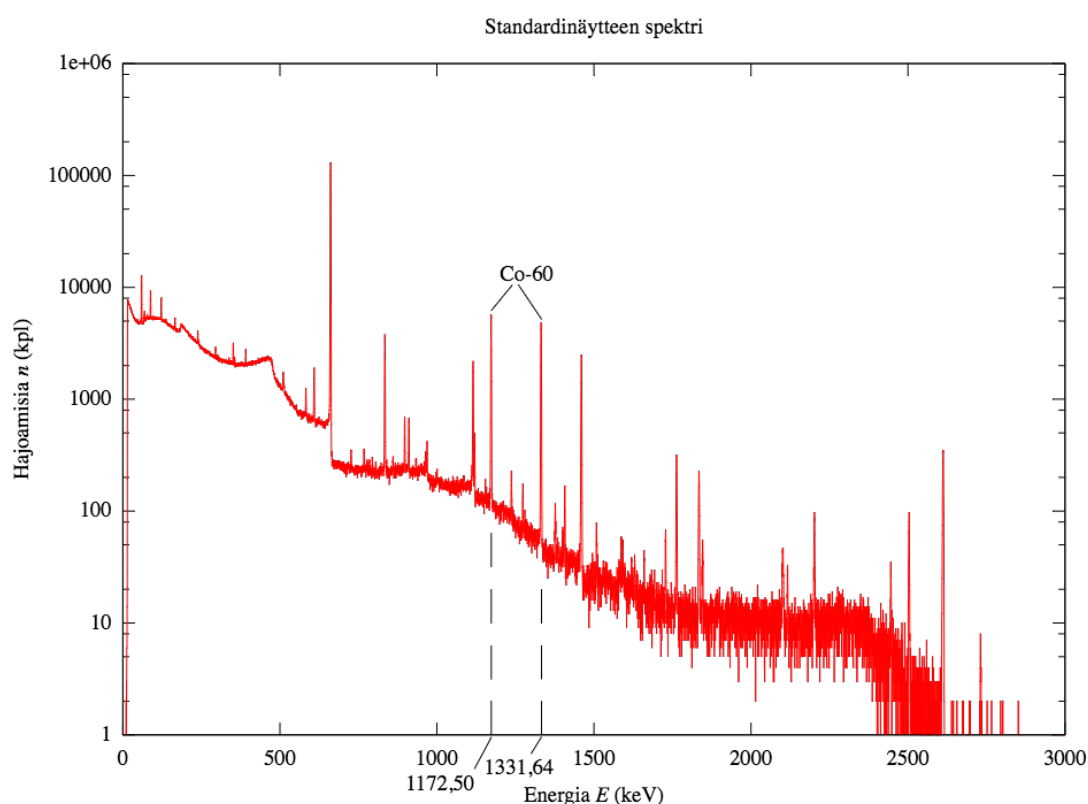
Kuva 6: AlphaGUARD P30 -radonmonitori. Kuvan on lähteestä [9].

2.5 Mittaukset

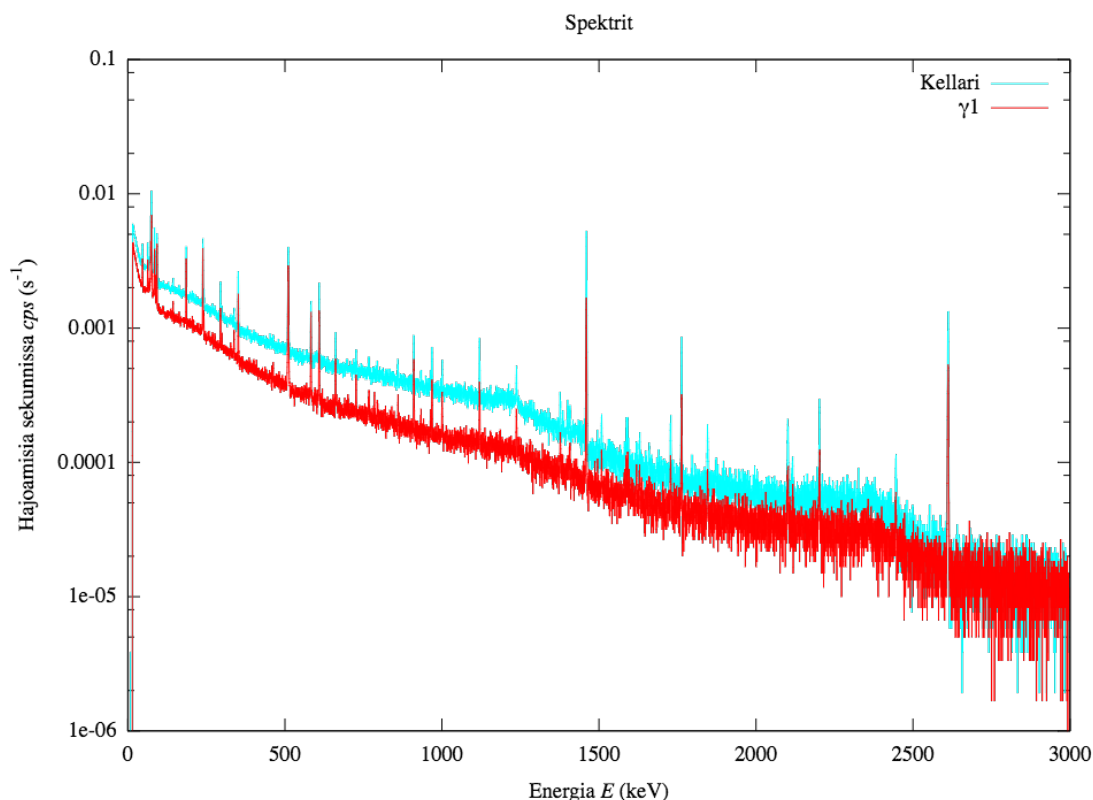
Ennen varsinaisia mittauksia testasin, että osaan aloittaa ja lopettaa mittauksen Detectivellä. Lisäksi tarkistimme Co-60-lähteellä, että energiakalibraatio on kunnossa. Teimme myös lyhyehkön muutaman tunnin mittauksen standardinäytteestä, jossa on useita eri radionuklideja. Sen avulla pystytään tarvittaessa tekemään tarkka energiakalibraatio spektrien analysointivaiheessa. Standardinäytteen spektri on kuvassa 7. Kuvassa erikseen merkittyjen Co-60:n piikkien taulukoarvot ovat 1173,24 keV ja 1332,50 keV, joten kalibraatio oli jo valmiiksi varsin hyvin kohdallaan [10]. Nyrkkisääntönä voidaan pitää seuraavaa: jos piikin energia eroaa alle 1 keV taulukoidusta arvosta, uutta kalibraatiota ei ole välttämätöntä tehdä.

Mittaukseen vaikuttavia parametreja ei Detectivessä juuri pääse muuttamaan. Näistä mainitsemisen arvoisia ovat esimerkiksi rise time (3,4 μ s) sekä flat top (0,8 μ s), jotka liittyvät pulssisignaalien käsittelyyn ja muotoon. Rise time tarkoittaa aikaa, joka pulssilta kestää nousta 10 prosentista 90 prosenttiin maksimiarvostaan. Flat top on puolestaan puolisuunnikassovituksen vakiona pysyvän osan kesto aika. [11] Lisätietoa pulssin muotoon liittyvistä käsitteistä löytyy esimerkiksi pro gradu -tutkielmasta [11].

Tein ensimmäisen mittauksen γ 1:ssä. Käynnistin Detectiven datan keräämisen MAESTRON kautta tietokoneella. Mittaus kesti noin 167 tuntia ja tuotti silmämääräisesti hyvän, kuvassa 8 näkyvän spektrin analysoitavaksi. Tallensin datan sekä CHN- että SPE-tiedostoiksi. CHN-muoto on ORTECin oma tiedostotyyppi MAESTROa varten, kun taas SPE-muodon saa auki tavallisella tekstieditorilla.



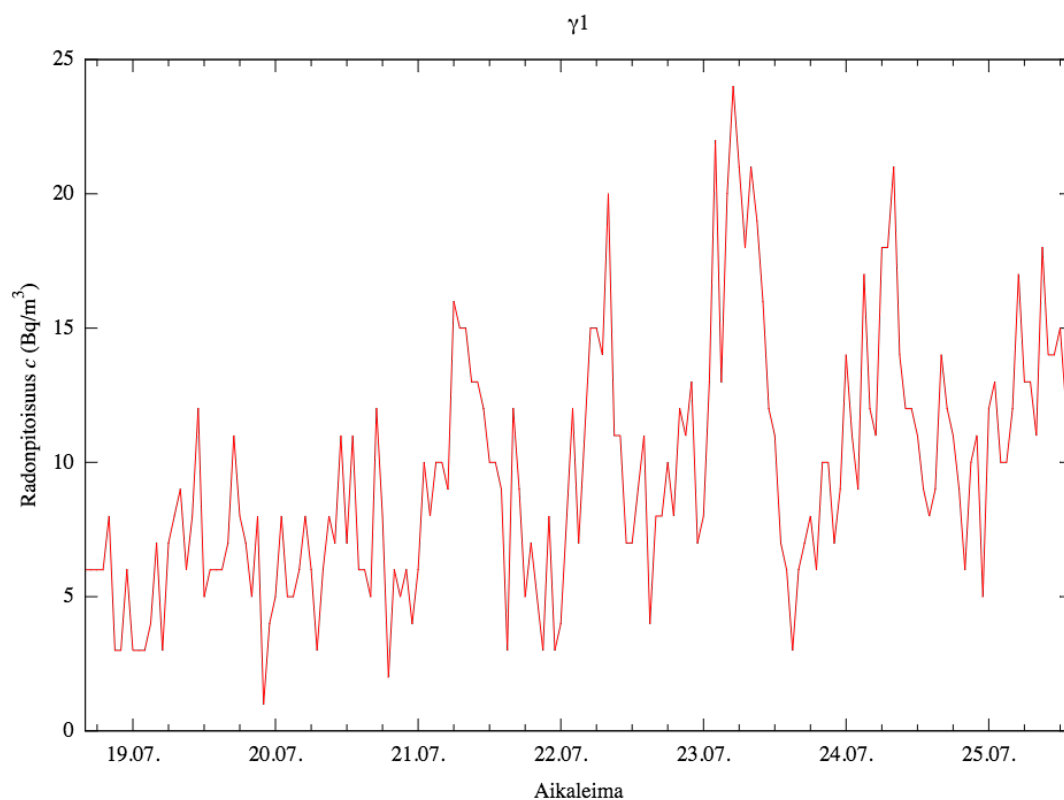
Kuva 7: Mitatun standardinäytteen gammaspektri. Jo Co-60:n kahden yleisimmän piikin avulla spektri saadaan tarvittaessa kohdistettua tarkasti.



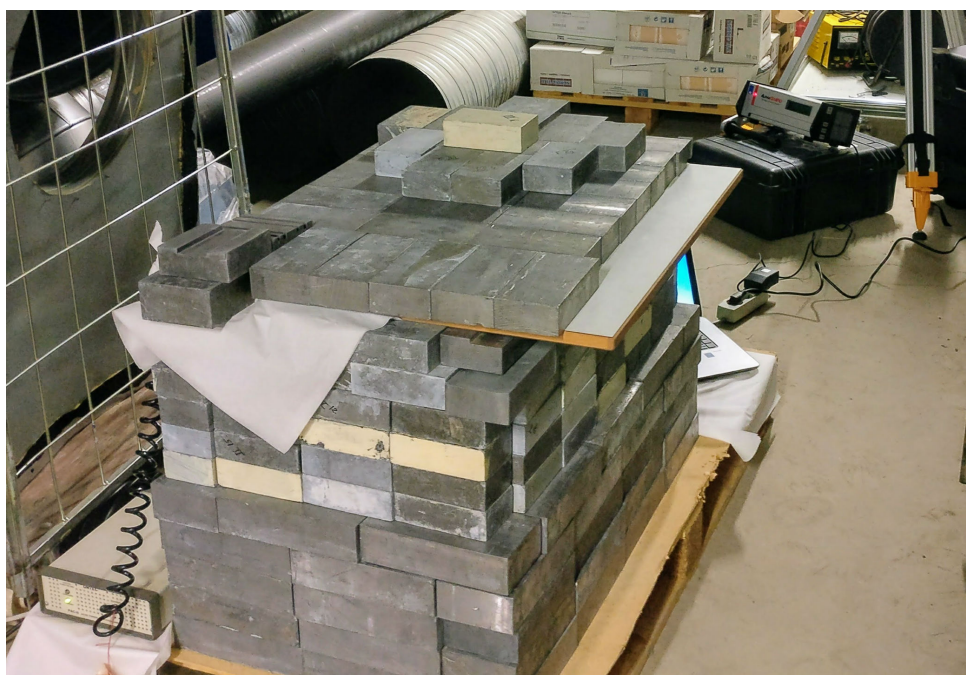
Kuva 8: Sekä $\gamma 1$:n että kellarin spektrit. Osumat on jo jaettu live-mittausajalla cps-muotoon. Tästä lisää osiossa 2.6.

Radonpitoisuuden monitorointia varten yksi P30 on koko ajan päällä $\gamma 1$:ssä, joten sen seurannan käynnistäminen ei vaatinut toimenpiteitä. Laite tallensi tunnin välein radonpitoisuuden, ilman-kosteuden ja -paineen sekä lämpötilan muistiin. Kopioin tiedoista aikaleimat ja radonpitoisuudet mittausjakson ajalta tekstitiedostoon – muut tiedot eivät ole tämän työn kannalta olennaisia. Näistä tuloksista on vielä vähennettävä sisäisen aktiivisuuden korjauskerroin, joka $\gamma 1$:n laitteelle on 2 Bq m^{-3} . Korjatut tulokset ovat kuvassa 9.

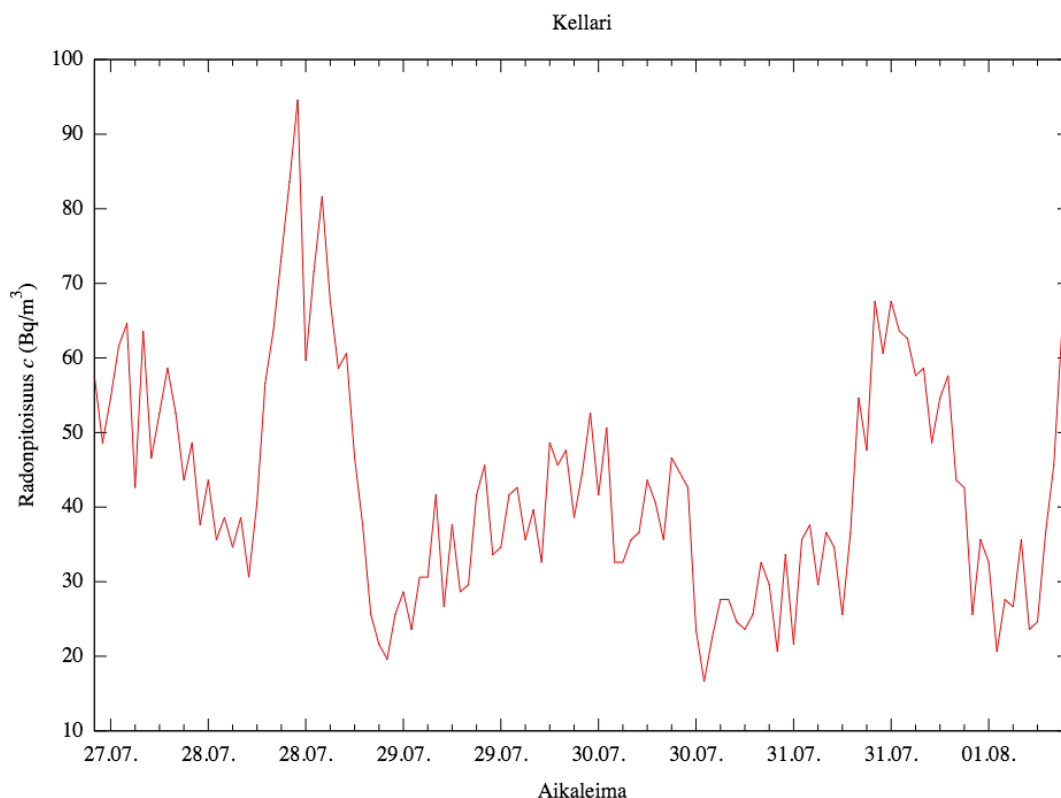
Kun olin suorittanut $\gamma 1$:n mittaukset, purin lyijysuojan katon, jotta sain Detectiven pois sisältä suojan kuljetuksen ajaksi. Sen jälkeen siirsin sen kellarikerroksen varastotilaan pumppukärryn ja tavarahissin avulla. Kokosin mittausasetelman uudestaan yhdellä poikkeuksella: nyt otin käyttöön KET:ltä lainaamani AlphaGUARD P30:n käyttöön. Kellarin laitteisto näkyy kuvassa 10. Suoritin mittaukset vastaavasti kuin $\gamma 1$:ssä. Mittaus kesti tällä kertaa noin 145 tuntia ja myös tästä mittauksesta syntynyt spektri on kuvassa 8. P30:n tulokset, joista on vähennetty korjauskerroin $3,38 \text{ Bq m}^{-3}$, ovat kuvassa 11.



Kuva 9: Laboratorion $\gamma 1$ radonpitoisuus mittauksen aikana.



Kuva 10: Kellarin mittausasetelma. Edustalla on lyijysuoja, jonka sisällä on Detective. Suojan takaa erottuu tietokone, ja taustalla korokkeen päällä on P30.



Kuva 11: Kellarin radonpitoisuus mittauksen aikana.

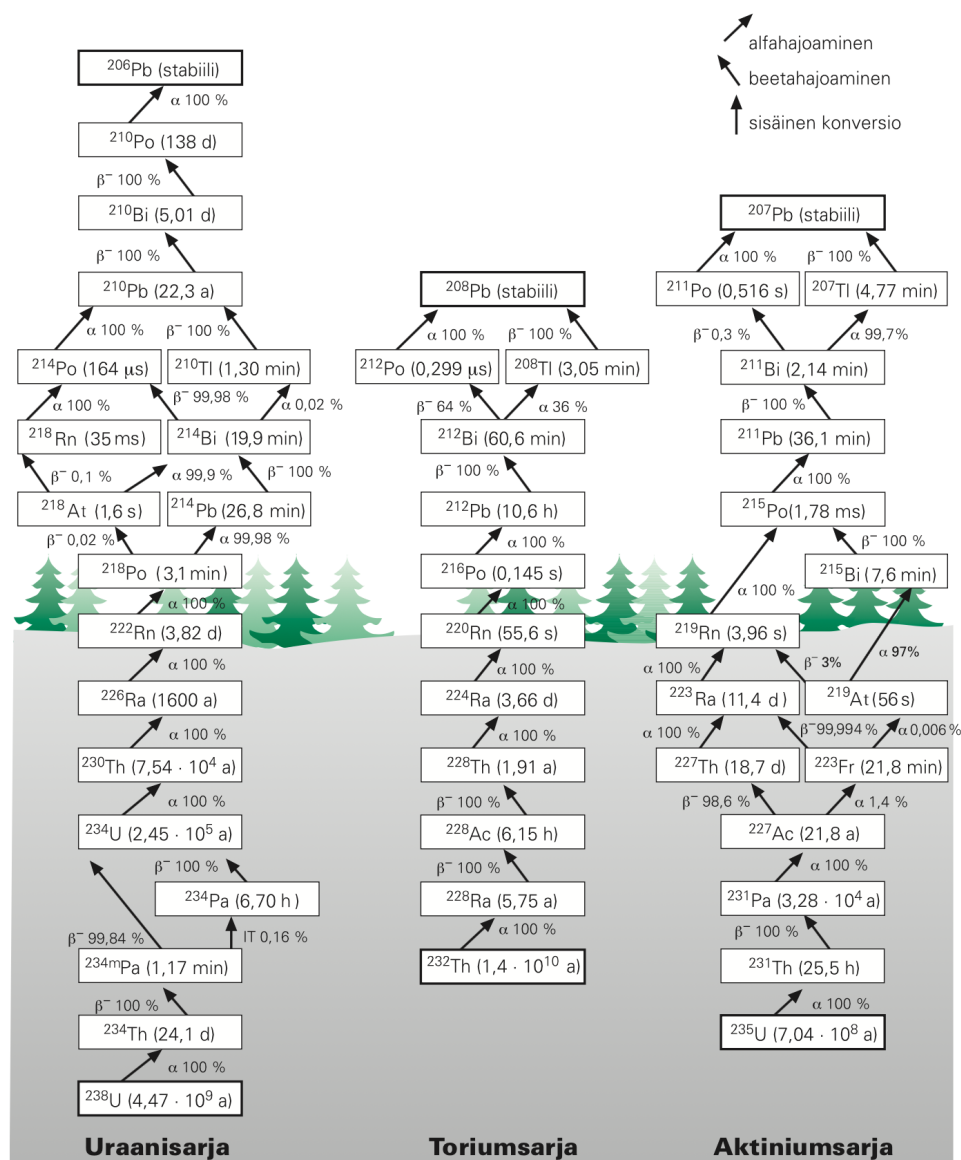
2.6 Spektrien analysointi

Mittausten jälkeen oli vuorossa mittausdatan analysointi. Kopioin aluksi tulokset taulukkolaskentaohjelmaan. Sen jälkeen muunsin kanavien numerot näitä vastaaviksi energioiksi. Laskin myös cps-tulokset (counts per second, osumia sekunnissa), jotta mittauksen eripituiset mittausajat eivät vaikuttaisi tuloksiin. Käytin cps-tulosten laskemisessa niin sanottua live-aikaa eli aikaa, jolloin ilmaisimella on kyennyt rekisteröimään gammakvantteja. Todellinen mittausaika on live-aikaa pidempi, koska jokaista osumaa seuraa lyhyt hetki, jolloin ilmaisimella ei kykene rekisteröimään uutta osumaa. Tuona aikana kvantin energiaa vastaavan kanavan lukemaa kasvatetaan yhdellä.

Seuraavaksi totesin yhdessä gammaryhmän jäsenen kanssa, että mitatun spektrin energiakalibraatio oli yhä hyvin kohdallaan, joten tarvetta standardinäytteen avulla tehtävälle uudelleenkaliibroinnille ei ollut. Jotta spektrejä voidaan analysoida, on varmistuttava siitä, että laitteisto on kalibroitu tarkasti.

Radonpitoisuuden vaihtelu vaikuttaa sen hajoamistuotteiden pitoisuuksiin ilmassa. Näin ollen spektrin piikkien pinta-alat todennäköisesti muuttuvat niillä tytärtimillä, joiden puoliintumisaika ei ole liian lyhyt eikä liian pitkä ja joilla gammakvanttien emissiotuotto on riittävän suuri. Liian nopeasti puoliintuvat nuklidit eivät ehdi siirtyä kammioon, kun taas liian hitaasti puoliintuvat eivät ehdi tuottaa riittävästi gammasäteilyä erottuakseen hyvin spektrissä. Näiden tietojen ja kuvan 12 pohjalta voidaan päätellä, että uraanisarjan Pb-214:n ja Bi-214:n sekä toriumsarjan Pb-212:n ja Bi-212:n pitoisuuksien vaihtelut näkyvät spektrissä luultavasti selvimmän.

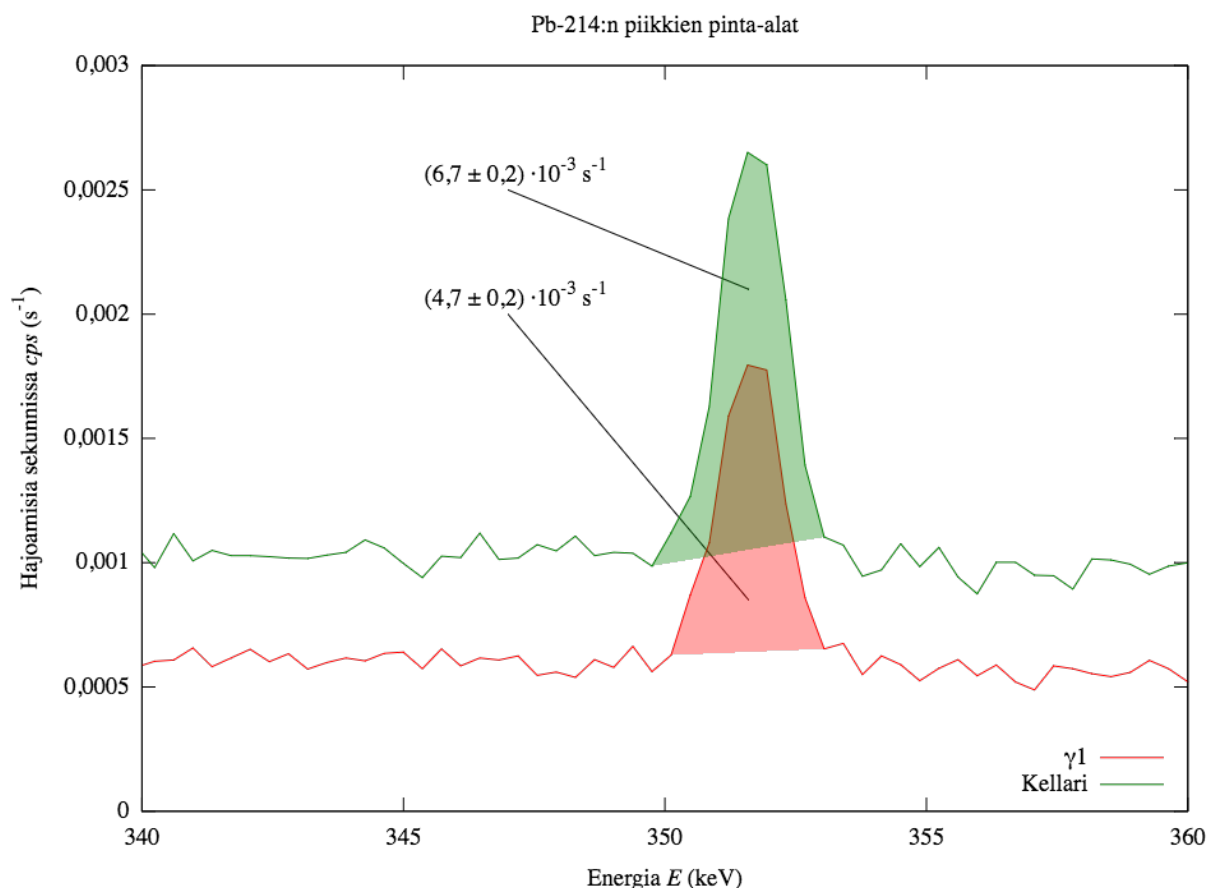
Valitsin edellä mainituista nuklideista Pb-214:n, Bi-214:n ja Pb-212:n analysoitaviksi. Ne voi-



Kuva 12: Luonnossa esiintyvät hajoamissarjat sekä kunkin nuklidin hajoamistapa ja puoliintumisaikat.

daan tunnistaa gammaspektristä niiden emittoimien gammakvanttien perusteella. Pb-214 emittoi eniten 351,93 keV gammakvantteja (37,6 % kokonaisintensiteetistä), Bi-214 609,31 keV kvantteja (46,1 %) ja Pb-212 238,63 keV kvantteja (43,3 %) [10]. Mittausteni mukaan piikkien paikat olivat 351,58 keV, 608,76 keV ja 238,54 keV γ 1:ssä ja 351,58 keV, 609,13 keV ja 238,54 keV kellarissa, joten energiakalibrointi oli pysynyt tarkkana koko rupeaman ajan. Kyseisten nuklidien muodostamat piikit ovat selkeitä ja siten helpot havaita, sillä mittaamissani spektreissä niiden välittömässä läheisyydessä ei ole muita isoja piikkejä.

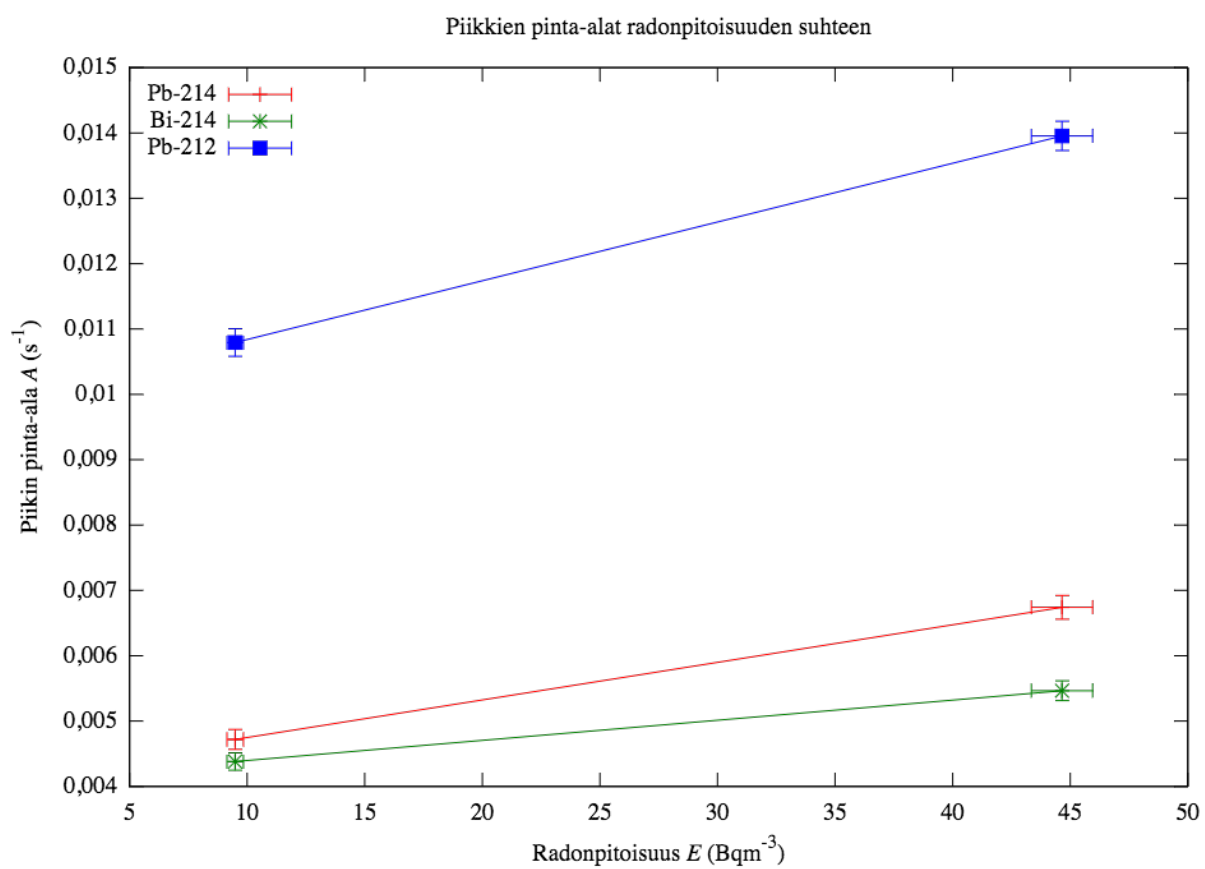
Kun olin valinnut tarkasteltavat piikit, valitsin työni kannalta sopivan tavan laskea niiden pinta-alat. Pohdimme aluksi gammaryhmän kanssa, kannattaisiko minun käyttää analysointiohjelmiä. Totesimme kuitenkin, että on järkevämpää ja kokonaisuuden kannalta vähemmän työlästä laskea pinta-alat suoraan cps-lukemista. Toisin sanoen määritin piikin alku- ja loppukohdat, laskin näiden väliin jäävät lukemat yhteen ja vähensin summasta taustasäteilyn osuuden. Kuva 13 havainnollistaa pinta-alan määrittystä.



Kuva 13: Pb-214:n piikkien pinta-alojen määrittäminen. Kummankin mittauksen tuottamasta piikistä on väritetty ala, jota käytän tuloksissa.

Viimeisenä vaiheena ennen lopullisia kuvaajia laskin mitattujen radonpitoisuuksien keskiarvot. Laboratoriossa $\gamma 1$ keskiarvo oli $(9,5 \pm 0,4) \text{ Bq m}^{-3}$ ja kellarissa $(44,6 \pm 1,3) \text{ Bq m}^{-3}$. Tulosten epätarkkuudet ovat keskiarvon keskivirheitä [12].

Lopulta muodostin radonpitoisuuksien keskiarvoista sekä valitsemieni nuklidien piikkien pinta-aloista yksinkertaiset sovitukset, jotka osoittavat alojen muutokset radonpitoisuuden kasvaessa. Ne ovat kuvassa 14. Laskin jokaisen tarkasteleman piikin pinta-alan epätarkkuuden seuraavasti: Piikin kunkin kanavan rekisteröimästä hajoamisten lukumäärästä on vähennetty taustaspektin osuus ja sen jälkeen otettu neliöjuuri, sillä radioaktiivinen hajoaminen noudattaa Poisson-statistiikkaa [13]. Ynnäsin nämä luvut yhteen ja muunsin näin saadun summan cps-muotoon.



Kuva 14: Ennalta valittujen piikkien pinta-alat radonpitoisuuden keskiarvon funktiona.

3 JOHTOPÄÄTÖKSET

Kuvasta 14 voidaan päätellä, että sisäilman radonpitoisuuden keskiarvon kasvaessa myös radonin hajoamistuotteiden emittoimien gammakvanttien lukumäärä kasvaa. Näin ollen niitä vastaavien piikkien pinta-alatkin kasvavat. Mittaamissani tapauksissa muutos ei ole kuitenkaan järin suuri: vaikka radonpitoisuus kasvoi keskimäärin noin viisinkertaiseksi, pinta-alan muutos oli enimmillään vain hieman yli 40 %.

Vaikka muutos vaikuttaa pieneltä, siitä voi olla myös haittaa. Kuvitelkaamme, että näyttees-tä halutaan tutkia sellaista nuklidia, jonka eniten emittoima gammapiikki on likimain samassa kohdassa spektriä kuin jokin radonin hajoamistuotteiden piikeistä. Jos tutkittavan nuklidin pitoisuus on pieni, kuten monesti on, taustaspektrin piikin pinta-alan pieni muutos voi vääristää nuklidin aktiivisuustuloksesta tuntuvasti. Toisaalta $\gamma 1$:n ja $\gamma 2$:n radonpitoisuuden vaihtelut ovat tavallisesti varsin pieniä. Edes tuntien ilmastointikatkos ei nosta radonpitoisuutta merkittävästi, joten normaalioloissa syytä huoleen ei ole.

Erikoistyöni pohjalta voidaan selvästi todeta, että sisäilman radonpitoisuuden vaihtelut vaikuttavat radonin hajoamistuotteiden aktiivisuustuloksiin. Tämä on linjassa löytämäni tutkimuksen ([5]) tulosten kanssa. Kyseisessä tutkimuksessa mitattiin 300 eri tyhjiöpakattua sedimenttinäytettä, ja mittausten aikana ilman radonpitoisuus vaihteli noin 0–180 Bq m⁻³ välillä sisäilman eri radonpitoisuuksissa. Tulokset olivat samankaltaisia kuin tässä työssä. Lisäksi cps-tulosten ja radonpitoisuuden keskiarvon välinen suhde on lineaarinen, mikä oli mahdotonta todentaa erikoistyössäni, koska kussakin kuvan 14 sovituksessa on vain kaksi pistettä.

Mittaukseni ovat vain suuntaa antavia: tarkastelin esimerkiksi vain kahta eri radonpitoisuuden keskiarvoa. Jos pitoisuuden vaihtelun vaikutuksesta haluttaisiin tuottaa tarkat, laboratoriokoh-taiset tulokset, mittauksia pitäisi suorittaa useita – normaalikäytössä olevilla ilmaisimilla ja eri radonpitoisuuksissa sekä kussakin laboratoriossa erikseen. Lisäksi kukin ilmaisintyyppi antaa ominaisen vasteen pitoisuuden vaihteluun.

Toisin sanoen tarkkojen tulosten laatiminen olisi erittäin työlästä. On myös huomioitava, ettei gammalaboratorioiden ilmastointia voi pitää pois päältä useita vuorokausia, sillä se on yhteydes-sä muihin tiloihin. Jos ilmenee tarve tehdä tarkempia mittauksia, on laadittava kompromissiratkaisu käytännön haasteiden ja tulosten tarkkuuden välillä. P30-monitori kannattaa pitää jatkos-sakin päällä – ei siksi, että sen avulla saataisiin jatkuvasti tarkkoja tuloksia sisäilman radonpitoi-suuden vaihteluiden vaikutuksista, vaan jotta mahdollisten häiriötilanteiden tai pitkäkestoisten huoltotöiden sattuessa olisi saatavilla tieto pitoisuuden muutoksesta ja sen myötä arvio vaiku-tuksista yksittäisiin mittauksiin.

LÄHTEET

- [1] STUK. *STUKin tehtävä on taata säteilyturvallisuus Suomessa*. Saantitapa: <http://www.stuk.fi/tietoa-stukista/stukin-tehtava-on-taata-sateilyturvallisuus-suomessa> (viitattu 24.7.2017).
- [2] STUK. *Ympäristön säteilyvalvonta*. Saantitapa: <http://www.stuk.fi/stuk-valvoo/ympariston-sateilyvalvonta> (viitattu 25.7.2017).
- [3] T. K. Ikäheimonen (toim.) *Säteily ja sen havaitseminen*. Säteily- ja ydinturvallisuus -kirjasarja, STUK. Hämeenlinna : Karisto Oy:n kirjapaino, 2002. Saantitapa: <http://www.stuk.fi/julkaisut/sateily-ja-ydinturvallisuus-kirjasarja/sateily-ja-sen-havaitseminen> (viitattu 9.8.2017).
- [4] R. Pöllänen (toim.) *Säteily ympäristössä*. Säteily- ja ydinturvallisuus -kirjasarja, STUK. Hämeenlinna : Karisto Oy:n kirjapaino, 2003. Saantitapa: <http://www.stuk.fi/julkaisut/sateily-ja-ydinturvallisuus-kirjasarja/sateily-ymparistossa> (viitattu 9.8.2017).
- [5] A. Mäuring. *Effects of radon background variations on measurements of Ra-226 through its progeny*. Esitelmä NKS:n GammaUser-seminaarissa 7.10.2014.
- [6] P. Kessler ym. Influence of radon progeny on dose rate measurements studied at PTB's radon reference chamber. *Radiation Protection Dosimetry* (2017). Saantitapa: <https://academic.oup.com/rpd/article/3811047/INFLUENCE-OF-RADON-PROGENY-ON-DOSE-RATE> (viitattu 11.8.2017).
- [7] R. Banjanac ym. Daily variations of gamma-ray background and radon concentration. *Romanian Journal of Physics* **58** (2013) S14–S21, Saantitapa: http://www.nipne.ro/rjp/2013_58_Suppl.html (viitattu 11.8.2017).
- [8] Ortec. *Detective-EX/DX-100T : Portable Neutron and Gamma Nuclide Identifier. User's Manual*. Saantitapa: <http://www.ortec-online.com/products/nuclear-security-and-safeguards/hand-held-radioisotope-indentifiers-riids/detective-100t> (viitattu 10.8.2017).
- [9] Bertin Instruments. *AlphaGUARD : Portable Radon Monitor*. Saantitapa: https://www.bertin-instruments.com/wp-content/uploads/secured-file/ALGU_Manual_2012-08_E.pdf (viitattu 10.8.2017).
- [10] The Lund/LBNL Nuclear Data Search. Saantitapa: <http://nucleardata.nuclear.lu.se/toi/> (viitattu 15.9.2017).
- [11] J. Tikkanen. *Calibration of a small anode germanium well detector*. Pro gradu -tutkielma, 2017. Saantitapa: <http://urn.fi/URN:NBN:fi:jyu-201706022645> (viitattu 17.8.2017).
- [12] J. R. Taylor. *An introduction to error analysis : the study of uncertainties in physical measurements*, 2. painos. Sausalito, Kalifornia : University Science Books cop., 1997.

- [13] K. E. Holbert. *Radiation counting statistics*. Opetusmateriaali. Saantitapa: <http://holbert.faculty.asu.edu/eee460/RadiationCountingStatistics.pdf> (viitattu 14.9.2017).